



ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE MOTOPROPULSORES DA AERONAVE C-130 HÉRCULES DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA

LOYOLA, Denise¹; MONTEIRO, Aluisio²; FERREIRA, Felipe³; CORREIA, Gabriel⁴

¹ Departamento de Gestão de Negócios, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, denise.loyola@ifrrj.edu.br

² Departamento de Engenharia de Produção, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, monteiro.aluisio@gmail.com

³ Departamento de Engenharia de Produção, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, felipefms82@gmail.com

⁴ Departamento de Engenharia de Produção, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, gabrielanjcor@gmail.com

Resumo: *A implantação de Gestão de Manutenção orientada à Confiabilidade de Componentes é considerada como uma das mais importantes ferramentas de manutenção da Força Aérea Brasileira (FAB), com papel de estabelecer uma cultura de melhoria contínua, garantindo elevado grau de confiabilidade de equipamentos de voo. A presente pesquisa tem como objetivo, propor um padrão gerencial de manutenção na FAB, baseado em conceitos de confiabilidade e de disponibilidade, considerando-se a sua importância para garantia de voos. Uma visão atual da gestão da manutenção acredita que essa função deva abranger todo o ciclo de vida dos sistemas, iniciando-se desde a etapa de criação do projeto, passando pela etapa de montagem, até a sua execução. Para a presente pesquisa de caráter exploratório e descritivo foi utilizado como metodologia de pesquisa, pesquisa bibliográfica, levantamentos de dados em campo e análise dos dados obtidos. Dessa forma, a partir da aplicação da gestão do conhecimento nas atividades de asseguramento de voos, propõe-se uma técnica de melhoria da qualidade dos serviços de manutenção, com ganhos esperados de confiabilidade e desempenho operacional dos sistemas de voos, resultando na prontidão combativa, requisito para as Forças Armadas.*

Palavras-chave: Gestão da manutenção, Manutenção de aeronaves, Confiabilidade, Weybull.

ANALYSIS OF AIRCRAFT POWERPLANT C -130 HERCULES RELIABILITY OF THE BRAZILIAN AIR FORCE

Abstract: *The implementation of a new theory, of Management of Maintenance guided to the reliability of components of aviation can be considered as one of the most important tools of maintenance of the National Air Force of Brasil (FAB), whose paper is to establish a culture of continuous improvement, ensuring high level of reliability of flight equipment. A vision contemporary of the management of the maintenance considers that this function must all to contemplate the cycle of life of the equipment, initiating itself since the stage of conception of the project, passing for the stage of assembly, until its execution. For the exploratory and descriptive research this was used as a research methodology, literature review, data surveys in the field and data analysis. Of this form, from the application of the management of the knowledge in the activities of securing of flights, it is intended to adopt a strategy directed for the improvement of the quality of the maintenance services, proposes a technique for improving the quality of maintenance services, expected reliability and operational performance of flight systems gains, resulting in combative readiness requirements of the Armed Forces.*

Keywords: *Management maintenance; Aircraft maintenance; Reliability; Weibull*

1. Introdução

A confiabilidade de um item corresponde a sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições pré-definidas. Ao comprar uma aeronave, o cliente verifica diferentes características de qualidade e possíveis limitações. Com frequência, o diagnóstico é realizado pelo fabricante por meio de ensaios mecânicos e parâmetros estipulados. Todavia, essas atuações tornam-se, incompletas para amplo conhecimento do aparelho e, por conseguinte, sua operação não atinge o objetivo esperado.

Em paralelo, ainda que uma aeronave tenha valor unitário fixado por contrato, sua implantação e operação necessitam de uma estrutura logística inicial, que resulta em um elevado custo de aquisição, sendo desejável um maior período de operação (cerca de três décadas). Devido a oportunidades de melhorias no sistema de asseguramento de voos da FAB, a complexidade e importância da operação, que envolve muitos equipamentos e sistemas sincronizados, verifica-se a necessidade de evoluir os conceitos de confiabilidade e planejamento na manutenção da

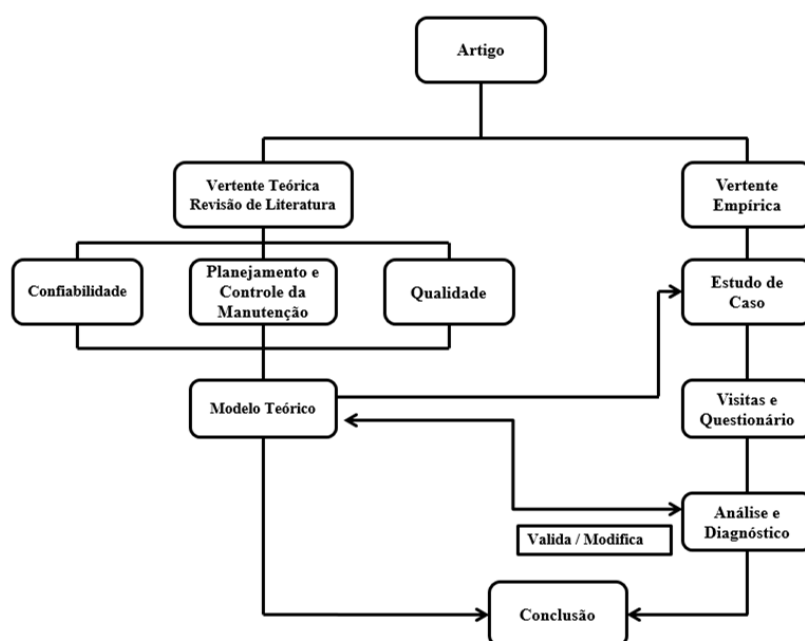
referida instalação, almejando reduzir o número de paradas inesperadas do equipamento crítico e aumentar a disponibilidade operacional.

Este artigo tem como objetivo aumentar a eficiência na frota da aeronave Hercules C-130 utilizando a abordagem de confiabilidade em manutenção. O estudo será realizado no setor de engenharia localizado na Base Aérea do Galeão que já apresenta alguns fundamentos para integrar as variáveis relacionadas com a manutenção e confiabilidade no sistema de asseguração de voos da FAB. A pesquisa propõe também apresentar sugestões de aperfeiçoamento com grande potencial de ganhos esperados. Percebe-se a relevância desse estudo uma vez que os conhecimentos acerca dos princípios da confiabilidade, das capacitações e limitações técnicas do equipamento operado podem evitar acidentes.

2. Metodologia

O presente estudo, de caráter exploratório e descritivo, é dividido em duas vertentes conforme apresentado na Figura 1. A vertente teórica que teve por objetivo mostrar conceitos que auxiliem no entendimento de aplicação de sistemas de confiabilidade, planejamento da manutenção e qualidade. Em razão disto é destacado, os conceitos vitais da gestão da confiabilidade utilizada em conjunto com ferramenta estatística. Para tal foi realizada pesquisa bibliográfica sobre Planejamento e Controle da Manutenção e Gestão da Confiabilidade.

Figura 1 – Estrutura metodológica da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

A vertente empírica está voltada para o estudo de caso, que busca contribuir em conhecimento a fim de aumentar confiabilidade, disponibilidade e segurança do equipamento. Para tal foi utilizado análise da situação problema, coleta de dados através de questionário, visita técnica, tratamento e análise dos dados obtidos para possíveis soluções.

3. Revisão da literatura

3.1. Fundamentos de confiabilidade

A partir da pesquisa de Garg e Deshmukh (2006), onde foi feito um levantamento de 142 artigos, obteve-se uma classificação geral da literatura a respeito de gestão de manutenção em seis áreas:

- a) Modelos de otimização de manutenção;
- b) Técnicas de manutenção;
- c) Programação de manutenção;
- d) Medição de desempenho de manutenção;
- e) Sistemas de informação de manutenção;
- f) Políticas de manutenção.

Com isso, um sistema de medição de desempenho eficaz é essencial para funcionamento eficaz de qualquer organização, da mesma forma, as várias políticas de manutenção podem ser classificadas como política de substituição de idade, política de reparação periódica, política de reparação, política de limite de falha, etc. Com diferentes características, vantagens e desvantagens e requer uma extensa pesquisa.

Destaca-se, segundo o mesmo autor, as técnicas de manutenção, que têm sido sub classificadas em dez áreas:

- a) Manutenção preventiva;
- b) Manutenção baseada em condição;
- c) Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance* – TPM);
- d) Sistemas de gestão de manutenção;
- e) Manutenção centrada em confiabilidade (MCC);
- f) Manutenção preditiva;
- g) *Outsourcing* de manutenção;
- h) Manutenção centrada em eficácia;

- i) Gestão estratégica da manutenção;
- j) Manutenção baseada em risco.

Nesse contexto, o presente estudo terá foco na manutenção preditiva, particularmente na confiabilidade de sistemas dinâmicos. Segundo Monteiro (2013), a manutenção preventiva consiste em decidir parar ou não um sistema produtivo ou equipamento de acordo com o seu estado. Segundo Fogliatto (2011), um sistema é confiável quando requer menos intervenções, menos custos, e apresenta processos mais robustos e estáveis. Para Lafraia (2006), a confiabilidade de um item é a probabilidade de que este desempenhe a função requerida, sob condições definidas de uso e por um intervalo de tempo estabelecido. A confiabilidade está geralmente ligada com as falhas durante a vida do produto sendo, portanto, um aspecto da incerteza da engenharia.

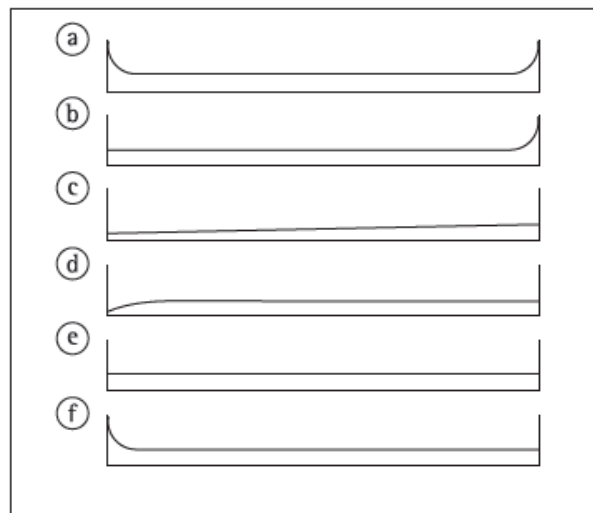
3.2. Definições da falha e curva da banheira

A análise de confiabilidade apoia-se em estudos probabilísticos de um sistema de desempenhar suas funções projetadas. A falha de um equipamento é a situação na qual este se torna incapaz, total ou parcialmente, de desempenhar uma ou mais funções para qual foi projetado.

As falhas de frequência decrescente são associadas ao início da vida do equipamento e normalmente são causadas por problemas de projeto, de fabricação e de instalação ou erro na operação por falta de treinamento inicial (MORAES, 2004).

Para Mendes (2011), a probabilidade condicional de falhas no tempo depende do tipo de componente que está sendo analisado. As probabilidades clássicas são apresentadas na Figura 2, são elas: a) a curva da banheira, onde há uma alta taxa de falha no início da vida útil do equipamento, seguida de estabilização onde ocorrem falhas aleatórias de frequência constante e finalizada pelo aumento considerável; b) taxa de falhas constante, com crescimento acentuado no final do período de vida útil, aplicada ao comportamento de componentes mecânicos; c) taxa de falhas levemente crescente no tempo; d) taxa de falha baixa no início da vida útil do equipamento, seguida de taxa de falha constante; e) taxa de falha constante durante toda a vida do componente, aplicada a componentes eletrônicos; e f) taxa de falha elevada no início da vida útil do equipamento, com queda acentuada e estabilização das falhas (MONTEIRO, 2013; SELLITTO, 2005).

Figura 2 – Tipos de probabilidades condicionais de falhas.



Fonte: Adaptado de Mendes (2011)

3.3. Medidas de confiabilidade

Segundo Monteiro (2013) e Fogliatto (2011), as principais funções de probabilidade utilizadas em estudos de confiabilidade de equipamentos são:

- a) A função acumulada de falhas;
- b) A densidade de falhas; (
- c) Confiabilidade;
- d) Taxa de falha;
- e) Tempo Médio até a Falha (MTTF - *Mean Time to Failure*);
- f) Tempo Médio entre Falhas (MTBF - *Mean Time Between Failures*);
- g) Tempo Médio de Reparo (*Mean Time to Repair – MTTR*).

Contudo a função mais utilizada na indústria, segundo Monteiro (2013), é a disponibilidade (D) dos equipamentos, expressa em termos percentuais conforme Equação (1).

$$D(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1)$$

A confiabilidade depende da probabilidade de sobrevivência a um determinado tempo t de um sistema. A definição de probabilidade está relacionada a modelagem dos tempos até a falha. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Esses tempos são constituídos pelo intervalo em que o sistema inicia sua operação até a ocorrência de uma falha funcional.

As principais formas de representação da probabilidade podem ser expressas por Exponencial, *Weibull*, Normal e *Lognormal* que são usadas para calcular os tempos até a falha dos equipamentos. A forma mais comum é a análise de *Weibull*, que é uma metodologia utilizada para modelar os dados a partir de um conjunto de valores não negativos. Com isso, é possível gerenciar os estoques de peças de reposição, estabelecer estatisticamente políticas de garantia, nortear o planejamento de manutenção, comparar a confiabilidade de projetos e de produtos concorrentes e realizar previsões sobre a vida de um produto. Tal modelo probabilístico será adotado no estudo. A confiabilidade é simbolizada pela Equação (2) a partir da função densidade de probabilidade.

$$C(t) = 1 - \int_0^t f(x) dt \quad (2)$$

Onde:

- a) $C(t)$ é função confiabilidade;
- b) A variável $f(t)$ é a função da densidade de probabilidade (f. d. p.) característica da distribuição;
- c) A variável t é o período de vida útil.

Existem outras maneiras para se parametrizar a distribuição de *Weibull*. No entanto, a Equação (3) é considerada a mais completa da função de distribuição de probabilidade deste modelo, onde são usadas 3 (três) variáveis.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{\tau - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{\tau - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (3)$$

Onde:

- a) Parâmetros β , η e γ , que são respectivamente os parâmetros de forma, escala e posição;
- b) A variável t é a que define o período de vida útil, podendo ser expresso em distância percorrida, frequência ou em tempo de funcionamento;
- c) $t > 0$; $\beta > 0$ e $\eta > 0$.

Como a vida inicial do equipamento é marcada por uma alta taxa de falha, é adotado o valor zero para o parâmetro de posição (γ) conforme Equação (4), já que o mesmo simboliza a posição no tempo onde o item começa a apresentar pane.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{\tau}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{\tau-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (4)$$

Substituindo o resultado da Equação (1), tem-se a Equação (5).

$$C(t) = 1 - \int_0^t \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{\tau}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{\tau-\gamma}{\eta}\right)^\beta} dt \quad (5)$$

Resolvendo a integral, tem-se a Equação (6).

$$C(t) = e^{-\left(\frac{\tau}{\eta}\right)^\beta} \quad (6)$$

A taxa de falha é representada como a divisão entre o número de falhas em um especificado tempo de vida e o número de equipamentos sujeitos a falha. Fazendo alusão à distribuição *Weibull* biparamétrica, a taxa de falha é representada pela Equação (7).

$$L(T) = \frac{f(T)}{C(T)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (7)$$

O parâmetro β é um escalar. Tal parâmetro interfere no formato da função de densidade de probabilidade. Logo, para $\beta < 1$ a função densidade de probabilidade (f. d. p.) reflete alta taxa de falha na vida inicial do equipamento em estudo e estão ligadas a defeitos originados no projeto, na instalação ou na operação. Dessa forma, de modo a amenizar a ocorrência das mesmas em itens que apresentam tal característica, é necessária uma análise baseada no material ou no fabricante.

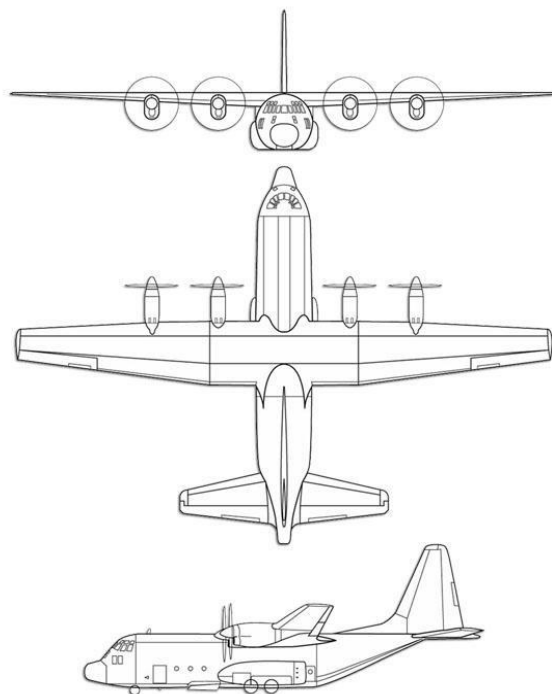
4. Estudo de caso

O estudo de caso foi realizado em duas unidades militares da Aeronáutica do Brasil presentes na Ilha do Governador, a Base Aérea do Galeão (BAGL) e o Parque de Material Aeronáutico do Galeão (PAMA-GL). O avião estudado - Hercules C-130 - fica locado efetivamente na BAGL que devido ao seu porte, tem capacidade operacional para realizar a manutenção nos níveis de manutenção orgânico e de manutenção de nível base. As duas unidades militares possuem, aproximadamente, 80 (oitenta) militares técnicos em manutenção de aeronaves, divididos em todas as especialidades relacionadas ao voo.

4.1. Produto estudado

O *Lockheed C-130 Hércules* é um avião com quatro turbos propulsores, cuja função predominante é de transporte aéreo em várias forças armadas em todo o mundo. Preparado para pousar ou decolar em pistas pequenas ou improvisadas, foi originado com o intuito de transporte de tropas e carga. No entanto, a aeronave C-130 Hércules é utilizada, também, no transporte de para quedistas, reconhecimento climatério, reabastecimento aéreo, combate aéreo a incêndios e evacuação médica. Existem em torno de 40 (quarenta) modelos da aeronave C-130 Hércules utilizadas em mais de 50 (cinquenta) nações. A Figura 3 apresenta o modelo da aeronave C-130 Hércules que será objeto de estudo.

Figura 3 – Modelo da aeronave C-130 Hercules



Fonte: Força Aérea Brasileira

4.2. Processo de manutenção

A aeronave C-130 Hércules tem capacidade operacional para realizar a manutenção nos níveis de manutenção orgânico e de manutenção de nível base. Manutenção de nível orgânico, ou de primeiro escalão, compreende as ações realizadas pelo usuário ou pela organização militar responsável pelo material, com os meios orgânicos disponíveis, visando a manter o material em condições de funcionamento e de conservação enquanto que a manutenção de nível base, ou de segundo escalão, compreende as ações realizadas em organizações de manutenção e que

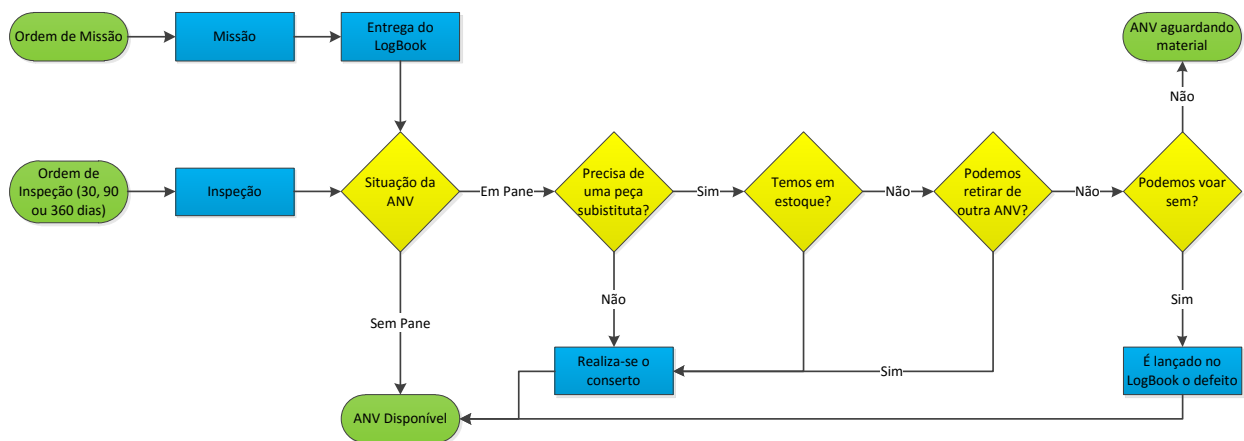
ultrapassam a capacidade dos meios orgânicos da organização militar responsável pelo material (BRASIL, 2003).

A aeronave C-130 também possui uma inspeção mais criteriosa, realizada anualmente, onde, praticamente, se alcança a todos os itens e subitens do avião. Esta manutenção é conhecida como manutenção de terceiro escalão e fica a cargo do PAMA-GL, parque responsável pelo projeto do C-130. O PAMA-GL fica, também, responsável por gerir todo o suprimento necessário para a operacionalização da aeronave às unidades que o operam e por gerenciar os indicadores dos sistemas e componentes do projeto através do Sistema Integrado de Logística de Material e de Serviços (SILOMS).

Todo o histórico da aeronave é registrado tanto em ambiente virtual, SILOMS, quanto no *LogBook*, livro de registro de acontecimentos. Através dos registros é possível obter dados do desempenho, qualidade da manutenção, dos itens de reposição, da condição do equipamento exposto, horas de voo, números de pousos, média da disponibilidade e o tempo médio entre as falhas.

Em ambas os casos de manutenção corretiva e preventiva, é verificado a necessidade de algum material para reposição e a disponibilidade da peça em estoque para a substituição. Caso não exista disponibilidade da peça, é feita a busca do material em uma aeronave que esteja parada a espera de outra peça de reposição. Tendo a peça em mãos, a equipe de manutenção realiza a manutenção da aeronave disponibilizando-a para o voo. Caso não encontre o material para realização do conserto, é verificado se a aeronave tem capacidade de voar sem comprometer a segurança da tripulação. No caso da segurança não for comprometida, o problema é lançado no *LogBook* e a aeronave é disponibilizada para o voo. Caso comprometa a segurança do voo, o avião fica à espera de uma peça suplente para o conserto. A Figura 4 apresenta o fluxograma com o detalhamento do processo.

Figura 4 – Fluxograma do processo de manutenção



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

4.3. Escolha do item crítico

Considerando que um determinado equipamento apresente elevada confiabilidade de projeto, o mesmo pode apresentar fragilidades quando sujeito a condições diferentes. Isso ocorre devido a variações de clima, já que a FAB realiza voos saindo desde o Rio Grande do Sul, Pantanal, Floresta amazônica, Nordeste até a Antártida. Com base no exposto, foram realizadas entrevistas formais com o engenheiro responsável pelo setor de engenharia do PAMA-GLe foi cedido o relatório técnico de análise dos itens da frota com principais itens da aeronave C-130. Mediante a análise do relatório, foi apontado três equipamentos como críticos para a manutenção da aeronave C-130:

- a) *Starter*;
- b) *Gás Turbine Compressor (GTC)*;
- c) *Motor Allison T56-A-15*.

De acordo com o entrevistado, o melhor item a ser avaliado é o Motor *Allison T56-A-15*, já que tanto o *Starter* quanto o GTC são sistemas que operam apenas na decolagem do avião e o tempo de uso de ambos é bastante impreciso. Na Tabela 1 segue informações relativas à quantidade de horas entre falhas (MTBF) do motor *Allison T56-A-15*.

Tabela 1 – Tempo de falha dos motores da aeronave

ANV2466	ANV2467	ANV2468
93,00	77,00	81,00
82,00	88,00	98,50
97,50	98,00	98,50
92,00	94,50	87,00
88,50	76,50	92,50
74,00	79,00	97,50
88,50	97,00	86,00
86,00	86,00	82,50
87,50	82,00	79,00
85,50	78,50	85,00
85,50	81,50	83,50
94,00	83,50	78,50
85,50	75,00	79,00
76,50	95,50	79,00
91,00	93,50	86,00
96,00	87,50	82,50
79,50	83,00	75,00
83,50	91,00	78,50
88,50	96,50	91,00
86,00	92,00	84,00
89,50	77,50	84,00
78,00	91,50	92,50
93,50	89,00	84,50
87,00	77,50	83,00
93,50	83,00	97,50
84,00	76,00	90,00
85,00	75,50	79,50
82,00	79,00	87,50
97,00	94,50	76,00
80,00	79,50	95,00
80,50	86,50	88,00
89,00	94,00	81,50
80,50	81,50	87,00
93,50	91,00	80,00
79,50	94,00	86,50
93,00	92,00	91,50
90,50	78,00	90,50
92,50	77,50	81,00
94,50	78,50	94,50
92,00	87,50	94,00
87,50	95,50	85,50
82,50	81,00	89,50
76,00	85,00	85,00
76,00	89,00	93,00
95,00	85,00	89,00

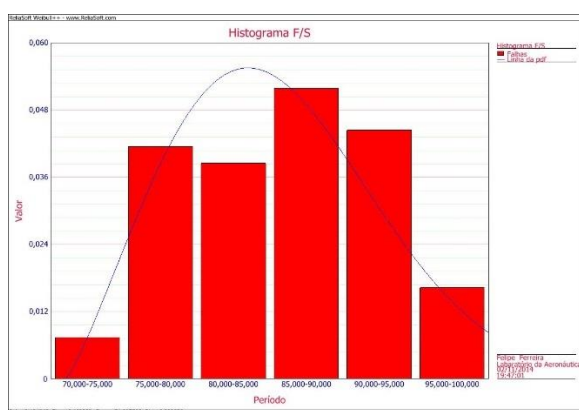
Fonte: Força Aérea Brasileira

As aeronaves de grande porte como Hercules C-130 possuem quatro motores idênticos e como todos os demais sistemas, cada motor apresenta sua confiabilidade própria e o sistema da aeronave apresenta a confiabilidade total, calculada com base em seus componentes críticos. Devido à criticidade das missões e o maior risco de acidentes, considera a situação alvo nesse estudo, a aeronave voando com peso máximo para o cálculo da confiabilidade, ou seja, como um sistema em série.

4.4. Análise dos dados coletados

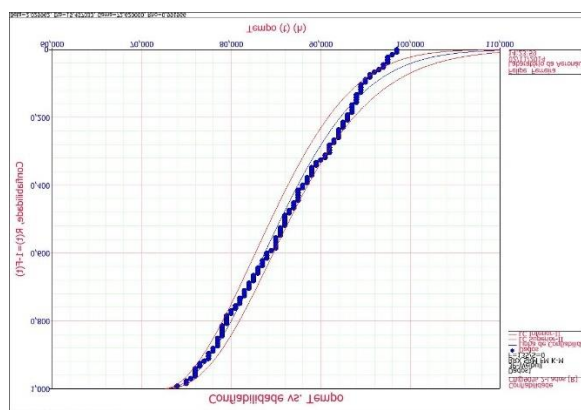
Para a realização da análise gráfica e quantitativa da confiabilidade é utilizado o *software* “Weibull ++ 9” do fabricante *Reliasoft*. A partir dos tempos entre as falhas do sistema motopropulsor das três aeronaves (Tabela 1), são gerados, no *software*, parâmetros como Histograma, Confiabilidade, Probabilidade de Falha e a Taxa de Falha conforme apresentado na Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Figura 8.

Figura 5 – Agrupamento das falhas a cada 5 (cinco) horas pela densidade probabilidade



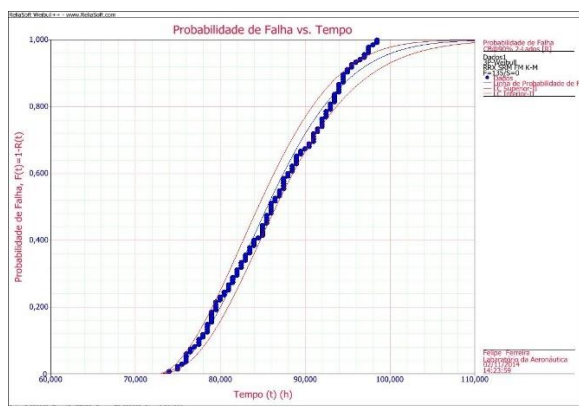
Fonte: Reliasoft-Weibull++ (2014)

Figura 6 – Confiabilidade



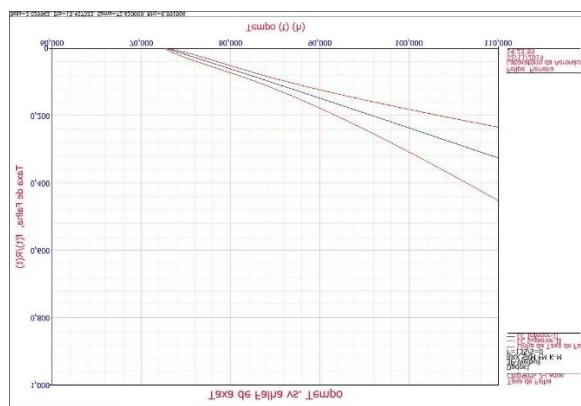
Fonte: Reliasoft-Weibull++ (2014)

Figura 7 – Probabilidade de falha



Fonte: Reliasoft-Weibull++ (2014)

Figura 8 – Taxa de falha

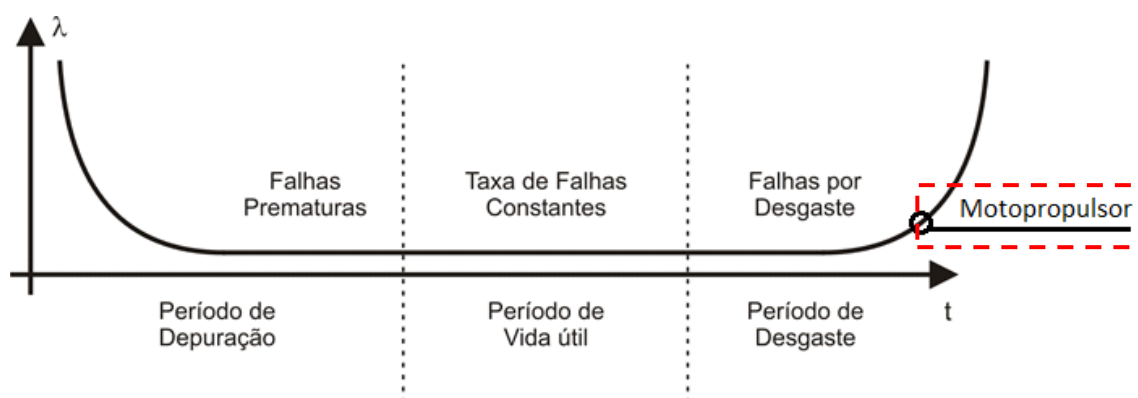


Fonte: Reliasoft-Weibull++ (2014)

Na Figura 5 observa-se que a maior probabilidade de falha acontece por volta de 85 horas de voo e que, a partir desse valor, tem-se um maior número de falhas. Na Figura 6 fica claro que para se obter uma confiabilidade acima de 80%, o tempo entre falhas deve ficar abaixo de 80 horas de voo. O programa sugere como parâmetros para a distribuição *Weibull* os valores como Beta (b) = 2,194843, Eta (h) 16,462902 e Gama (h) 71,0275. Nota-se que praticamente todos os pontos ficam dentro dos limites inferior e superior da modelagem à distribuição de probabilidade escolhida (distribuição *Weibull*). No entanto, a Figura 7 relata justamente o inverso da Figura 6 onde para se obter apenas 20% de chance de falha, é preciso ter intervalos de falhas abaixo de 80 horas de voo. Já a Figura 8 apresenta o leve crescimento na variação da taxa de falha, variando de zero a apenas 0,261943.

Outro fator a ser observado é a taxa de falha está em fase crescente, mas de pequena variação, indo de 0 a 0,261943. Diante disso, pode-se constatar que o sistema motopropulsor apresenta em fase inicial de desgaste, indicando necessidades de ações mais eficientes na gestão da manutenção da aeronave C-130 Hércules. A Figura 9 indica o comportamento típico do motopropulsor em relação a taxa de falha.

Figura 9 – Curva da banheira indicando o comportamento do motopropulsor



Fonte: Sellito (2005)

Após análise dos dados, observa-se que é necessária mudança no método de acompanhamento dos indicadores de manutenção, para que ações eficientes possam ser tomadas e os índices de confiabilidade melhorem, tornando os intervalos de tempos entre as falhas maiores e a taxa de falha baixa e constante.

Considerando o sistema motopropulsor, percebe-se que o defeito ocorreu muito antes da parada da aeronave para inspeção. Isso deixa claro que o intervalo de 30 dias para manutenção preventiva é muito extenso. Dividindo o mês em quatro semanas, tem-se um intervalo de 63,5 horas de voo, o que dá uma confiabilidade de 100% ao sistema motopropulsor. No entanto,

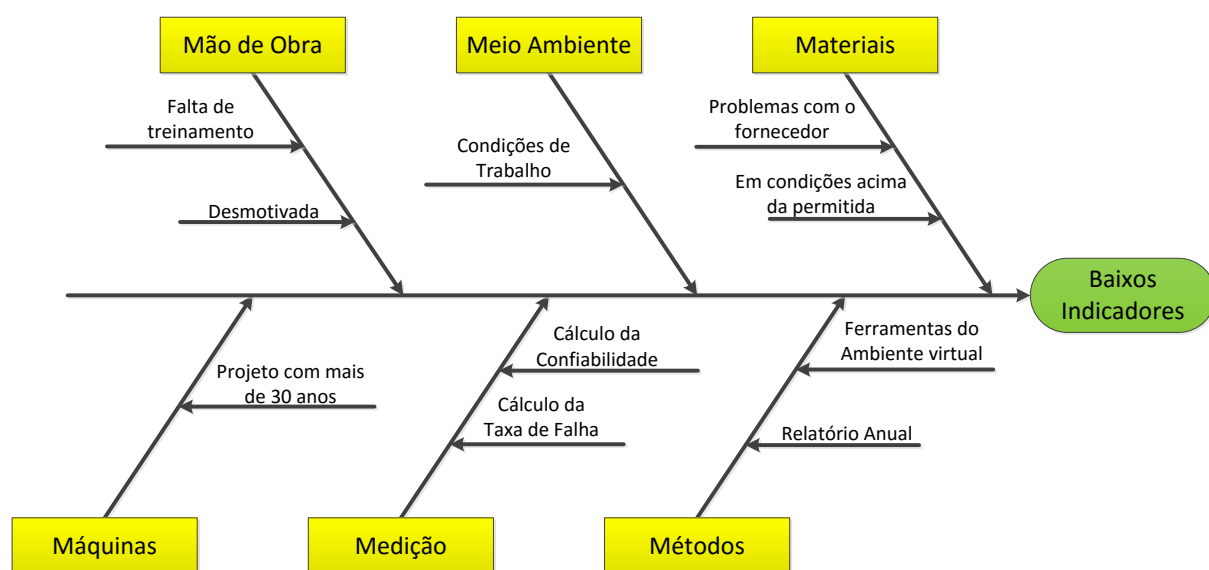
sabe-se que esse número é fictício, já que, para manutenção, é necessário a troca de muitos itens e utilização excessiva da mão de obra. Tal ação aumentaria, absurdamente, os custos de manutenção e não garante o valor de 100% confiabilidade.

Outro fato é que nos dados fornecidos não havia falhas nas aeronaves com tempo de voo menor do que 74 horas, contrário a análise de confiabilidade.

É importante ressaltar que se as inspeções forem realizadas a cada dez dias, tendo com isso um intervalo de 84,5 horas de voo entre elas, têm-se uma confiabilidade de 55,94%. Para manter o sistema motopropulsor atuando com uma confiabilidade de 90%, a parada para a preventiva e preditiva deverá ser realizada a cada 77,5 horas de voo.

Feita a análise dos indicadores, um estudo das causas que levam o sistema motopropulsor a ter uma baixa confiabilidade, foi realizado. A Figura 10 apresenta o estudo das causas usando o diagrama de *Ishikawa* como ferramenta.

Figura 10 – Diagrama de causa e efeito com a justificativa da baixa confiabilidade do C-130 Hércules



Fonte: Elaborado pelos autores

Após as reuniões o engenheiro e o responsável pela manutenção, as hipóteses “Meio Ambiente” e “Materiais” foram desconsideradas pelos mantenedores, já que até então, pode-se constatar que não existe nenhuma pane sistemática relacionada aos motores. A gestão confirma a hipótese “Mão de Obra” e a necessidade de iniciativas de capacitação de mão de obra afim de obter bom desempenho.

Já na hipótese “Máquinas” fica claro que o tempo de serviço da aeronave é um fator a ser considerado, mas tendo em vista o programa de modernização em vigência e a já programada substituição do C-130 pelo KC-390, medidas já estão sendo tomadas nesse sentido.

No caso da hipótese “Medições”, foi observado que o relatório não apresentava variáveis e indicadores de confiabilidade, taxa de falha, tempo médio de reparo e disponibilidade enquanto que no caso da hipótese “Métodos” foi diagnosticado que a FAB não possui um ambiente virtual com condições técnicas de fornecer os indicadores de confiabilidade e indicadores de desempenho graficamente e o mesmo necessita de um *software* adequado a isso. É percebido também que o fato do relatório ser feito anualmente faz com que as informações cheguem com certo atraso para qualquer ação efetiva.

Diante desse contexto, a FAB percebeu a importância da pesquisa realizada, uma vez que os conhecimentos acerca dos princípios da confiabilidade, das capacitações e limitações técnicas do equipamento operado podem evitar acidentes.

4.5. Proposta de plano de ação

Como proposta de plano de ação, foi realizado um 5W2H, conforme apresentado no Quadro 1, sob vários aspectos interrogativos apresentados no diagrama de *Ishikawa*.

Quadro 1 – Proposta de plano de ação 5W2H

O que?	Quem?	Onde?	Quando?	Por quê?	Como?	Quanto?
Treinamento	Técnicos de manutenção das aeronaves	Seção de Engenharia do PAMA-GL	Mensalmente	Necessidade de treinamento	Programas de melhoria contínua	-
Estímulo a motivação	Técnicos de manutenção das aeronaves	Seção de Engenharia do PAMA-GL	Mensalmente	Necessidade estímulo	Premiação no programa de melhoria contínua	-
Cálculo de indicadores de confiabilidade, taxa de falha, tempo médio de reparo e disponibilidade de do equipamento	Técnicos e engenheiros de manutenção das aeronaves	Seção de Engenharia do PAMA-GL	Diário	Examinar o desempenho imediato de um componente mecânico de aviação durante o respectivo ciclo de vida, evitando acidentes.	<i>Software</i> gratuito	-
Adquirir ferramentas e ambiente virtual propício para monitoramento e gestão da confiabilidade	Técnicos e engenheiros de manutenção das aeronaves	Seção de Engenharia do PAMA-GL	Licença anual	Examinar o desempenho imediato de um componente mecânico de aviação durante o respectivo ciclo de vida, evitando acidentes.	<i>Software</i> a definir	A definir

Fonte: Elaborado pelos autores

4.6. Resultados esperados

Espera-se com a proposta de plano de ação, resultados como:

- Alcançar 90% de confiabilidade da aeronave C-130 através da parada programada para a preventiva e preditiva realizada a cada 77,5 horas de voo.
- Executar a gestão da manutenção conforme os planos documentados e padronizados, ordem de serviço e tarefas programadas;
- Aplicar a manutenção preventiva de acordo com o programa e evitar a prorrogação de serviços;
- Registrar e examinar o histórico da manutenção e quebras tendendo garantir que os índices de falhas sejam otimizados e os custos reduzidos, identificando oportunidades de melhoria;

- e) Dar prioridade às habilidades no Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) ao invés de colocar o foco no reparo de quebras e restauração de equipamentos.

5. Considerações finais

Quando um fabricante não publica as especificações de desempenho de um componente, devido às grandes diferenças encontradas nas condições de operação, o usuário deve coletar dados operacionais e analisar a confiabilidade do mesmo. Isto permite diagnosticar variações de causas especiais no equipamento, auxiliando na prevenção contra a perda de qualidade.

Estudos de confiabilidade vêm contribuindo nas mais diversas áreas, porém no caso da aviação, as taxas de falha devem apresentar índices extremamente baixos, já que um dispositivo confiável propicia alto grau de segurança, além de vantagem operacional.

Sendo assim, todos os itens críticos da aeronave devem ser cuidadosamente monitorados para o controle dos indicadores de manutenção, o que não é realizado com o motor *Starter* e o motor GTC. Se faz necessário incluir nos relatórios da FAB, além das horas de voo, o tempo que o sistema de decolagem ficou ativo em cada missão, possibilitando os cálculos dos parâmetros de confiabilidade já mencionados no estudo. Também é necessário que o ambiente virtual, SILOMS, passe a informar, de forma estratificada, o tempo médio de reparo (MTTR), taxa de falha, a disponibilidade e a confiabilidade dos itens críticos. Para o cálculo e a visualização dos indicadores, foi indicada a utilização do programa *Weibull++* para que a análise gráfica e quantitativa fosse obtida de forma rápida e precisa.

Para que esses dados surtam efeito desejado, se faz necessário, um relatório diário com análise em tempo real da frota, possibilitando a Seção de Engenharia do PAMA-GL, reação rápida caso os índices piores. O relatório diário será de extrema importância, já que permitirá a realização de manutenções preditivas em intervalos menores, evitando problemas na Gestão da Manutenção como a quebra das várias aeronaves de forma simultânea e a redução da disponibilidade do equipamento.

Por fim, esse estudo através do seu referencial teórico e da utilização de *software*, mostra ferramentas válidas para a análise de diversos parâmetros da confiabilidade de um item ou sistema, contribuindo na economia dos meios, no aumento de desempenho e na prevenção de acidentes.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se uma busca por aprimoramento do método, para que se torne possível ajustar diferentes tipos de distribuições, não restringindo somente a distribuição de *Weibull* de três parâmetros. Isto tornaria o método mais abrangente, mas em contrapartida, associa-se o risco de aumentar a complexidade do método, ou distorcer os resultados.

Referências Bibliográficas

- TSANG; Albert H.C. (2002), "Strategic dimensions of maintenance management", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 8 Iss 1 pp. 7-39 <http://dx.doi.org/10.1108/13552510210420577>
- BRANCO FILHO, G. Indicadores e Índices de Manutenção. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2006.
- FOGLIATTO, F., Confiabilidade e Manutenção Industrial. Campus, 2011.
- GARG, A.; DESHMUKH, S. G. Maintenance Management: literature review and directions. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 12, n. 3, p. 205-238, 2006. <http://dx.doi.org/10.1108/13552510610685075>
- KARDEC, A.; NASCIF, J.; Manutenção Função Estratégica. 2ª Ed., Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- LAIRAIA, João R., KARDEC A. Gestão Estratégica e Confiabilidade, Editora Quality Mark, 2001.
- MENDES, A. A., RIBEIRO, J. L. D., et al. Um estudo do suporte quantitativo necessário para operacionalização da MCC. Produção, v. 21, n. 4, p. 583-593, out./dez. 2011
- MONTEIRO, A. ; PAIVA, T. Avaliação no OEE no Processo de Forjaria de um Fabricante de Componentes para o Setor Automotivo. SIMEPRO, 2013.
- MOUBRAY, J.; RCM2: Reliability Centered Maintenance. UK: Lutterworth Heinemann Ltd., 2011.
- MUCHIRI, P.; PINTELON, L. G.; LUDO, M. H. Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. International Journal Production Economics, v.131, p.295–302. 2011.
- NAKAJIMA, S.; Introduction to TPM - Total Productive Maintenance. Cambridge, MA: Productivity Press, 2008.
- NICHOLAS, John. Competitive Manufacturing Management: Continuous Improvement, Lean Production and Customer-Focused Quality. McGraw-Hill, 2000.
- SELLITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. Revista Produção, v. 15, n. 1, p. 44-59, 2005.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R. Administração da Produção. 2a ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- SOUZA, J. B.; SACOMANO, J. B.; KYRILLOS, S. L.; MILREU, F. J. S. Indicadores de desempenho da função manutenção: um enfoque em aciarias brasileiras. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Ano 7, nº 3, jul-set/2012, p. 75-89.